干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000－6060.2018.04.06

近55 a渭河流域气候变化①

冯　星，郭建青，孙东永，曹　洋
（长安大学旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室，陕西　西安　710054）

摘　要： 利用渭河流域21个气象站点1960—2015年逐日气象资料，应用一元线性趋势分析、Penman-Monteith模型和Morlet小波分析等技术手段分别研究年、月地表湿润指数，并对其进行标准化和气温、降水以及极端干旱事件的变化趋势计算，并分析年内变化规律，以期更好的揭示渭河流域近55 a气候的变化规律。结果表明：(1)渭河流域近55 a的气温总体上在波动中呈小幅增加的趋势，其中20世纪80年代中期到90年代初期气温的增长幅度较大，为气温升高的主要时期，年均降水量和极端干旱频率呈现小幅减少的趋势，下降的主要时期集中在80年代中后期到90年代初期和21世纪初。(2)小波周期分析发现渭河流域极端干旱事件的震荡周期尺度为13～15 a和25～30 a，气温震荡周期的时间尺度为13～15 a和25～30 a，年降水量的小波振荡周期为15～17 a和25～30 a。主震荡周期的时间尺度均为25～30 a，次震荡周期的时间尺度也较为接近，为13～15 a和15～17 a，说明三者的变化规律在一定程度上有一定的相似性。(3)研究区内5个区域的气候变化特征同时存在着一定的差异性，天水—西吉流域的年均降水量和极端干旱事件发生频率的减少幅度和年均气温的增加幅度是5个区域里变化最大的，吴其—状头区域的年均降水量和极端干旱事件的减少频率和年均温度的增加频率是5个区域里变化幅度最小的，但在总体上各区域气候要素变化趋势上是保持一致的。

关　键　词： 渭河流域；气候特征；极端干旱事件；Penman-Monteith模型
中图分类号： P467　　**文献标识码：** A　　**文章编号：**

近年来，气温上升和气候逐渐变暖是全球气候变化最为明显的特征，各种极端天气、气候事件的发生频率也在逐渐的增加，对社会经济发展和人民的日常生活带来了很不利的影响[1－3]，引起了国内外学者的广泛关注。严中伟等[4]在2000年，对我国的极端气候变化进行了初步的探讨，指出了我国极端气候变化的格局；陈亚宁等[5]研究发现我国西北干旱区的极端气候和水文事件呈逐年增加趋势；张宁、翟盘茂等[6－7]对我国的极端气温进行了研究，指出在空间上极端低温在年和四季均表现出稳定增温的趋势；而且极端低温的增幅幅度大于极端高温的增幅幅度。同时我国北方日最低气温小于0℃的日数显著减少，这使得我国北方，尤其是东部地区无霜期明显加长。从降水来看，华北地区强降水事件趋于减少，但西北地区强降水事件趋于增多；江志红等[8]对我国的极端降雨事件进行了预估，指出极端降水的区域形态特征，极端降水的时空变率特征，以及极端降水与全球气候的平均变率的联系等问题尚有待解决。另外，极端降水事件的描述方法和指标等问题也应不断改进；马柱国等[9]研究了我国北方地表湿润状况，指出西北西部和华北地区的年际及年代际变化趋势基本相反，前者地表为变湿趋势，后者为变干趋势，华北地区的干化趋势主要发生在夏秋季节，而西北除东部的秋季和西部的夏季外，其它季节均存在变湿趋势。在对渭河流域研究方面，孙悦等[10]研究了渭河径流和气候变化，指出渭河径流空间分布差异大，年内分配不均，年际、年代际丰枯震荡明显；流域内降水量减少、气温升高、蒸发量增大，使得径流量减少；近年来人类活动对径流的直接、间接作用也使得径流量显著下降；左德鹏等[11]研究了渭河流域潜在蒸发量的变化特征，结果指出该区域潜在蒸发量的增幅趋势明显，增幅较大区域

① **收稿日期：** 2018－01－09；　**修订日期：** 2018－04－17
基金项目： 国家自然科学基金重大项目(51190093)；国家自然科学基金(51379014)；中央高校基本科研业务专项(310829161008)
作者简介： 冯星(1991－)，男，河南光山人，硕士研究生，从事水文水资源方面的研究. E-mail:hnfxing@163.com
通讯作者： 张洪波(1979－)，男，教授. E-mail:hbzhang@chd.edu.cn

主要分布在渭河南岸,而渭河北岸大部分变幅较小;王帅等[12]对渭河流域的气温变化规律进行了分析,指出渭河流域年及各季节平均气温均表现为显著上升趋势,其中冬季气温上升最显著;多年平均气温空间分布存在不均衡性,年平均气温以西安站为中心向外呈辐射递减;年及各季平均气温存在明显的突变点,1993 年为该流域大的气温转折年。当前大量的研究主要针对整个渭河流域平均降水情况和气温的变化特征,但是对渭河流域各个支流所在的区域进行区域化的研究尚不多见。本文基于已有研究的基础上,利用渭河流域近 55 a 的气候资料,把渭河流域划分为 5 个不同的区域,对渭河流域的气候变化特征进行更为深入的研究,以期为渭河流域的气候变化、生态环境保护以及当地的水资源管理提供科学的指引,同时为新丝绸之路的建设提供帮助。

1　研究区概况

渭河位于我国大陆的西北地区,是黄河最大的支流,发源于甘肃省渭源县乌鼠山,流经甘肃、宁夏和陕西三省(区),最终在陕西省潼关县流入黄河。渭河总长 818 km,流域覆盖面积 13.48×10^4 km^2,其中甘肃占 44.1%、宁夏占 5.8%、陕西占 50.1%。该流域西高东低,北部为黄土高原,南部为秦岭山脉。此区域属于典型的干旱半干旱气候年降水少蒸发量大,多年平均降水量为 400 ~ 800 mm,蒸发量为 700 ~ 1 600 mm,年平均气温为 7.8 ~ 13.5 ℃,夏季炎热少雨,冬季干燥寒冷[13-14]。本研究所用数据为

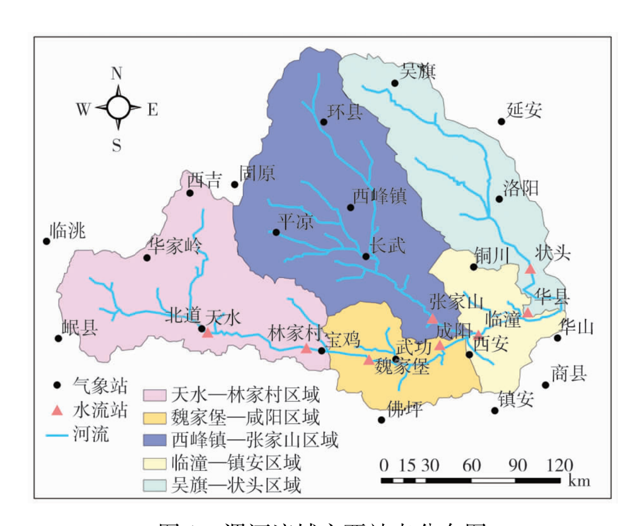


图 1　渭河流域主要站点分布图

Fig. 1　Location of Weihe River Basin and the related meteorological stations

渭河流域 21 个气象站 1960—2015 年的日降雨数据,以上数据来自国家气象数据中心。该流域各主要站点的分布如图 1 所示。为了使所分析结果更具有代表性,我们根据渭河主要的五条一级支流将该流域划分为 5 个不同的区域来进行研究分析,分别得到天水—西吉区域(以下简称天—西)、魏家堡—咸阳区域(简称魏—咸)、西峰镇—张家山区域(简称西—张)、临潼—镇安区域(简称临—镇)和吴旗—状头区域(简称吴—状)的日降雨数据[15]。本文利用渭河流域五个主要一级支流的日气候资料,对该流域的气候特征进行分析。

2　资料与方法

本文所用数据为国家气象数据网所提供选用渭河流域 21 个气象站的逐日降雨量、日平均气温、日最低气温、日最高气温、日照时数、日平均相对湿度等气候资料,分别计算各气象站每日的潜在蒸发量,进而进行月蒸发量的统计,然后结合降水资料计算各站点不同时间段的湿润指数 H,将 H 的标准化变量小于等于 −0.5 定义为极端干旱[16]。

月地表湿润指数的计算公式如下:

$$H=\frac{P}{ET_0} \qquad (1)$$

式中:H 为月地表湿润指数;P 为月降水量;ET_0 为月潜在蒸散量。

潜在蒸散量 ET_0 的计算式采用世界粮农组织(FAO)1998 年修正的 Penman-Monteith 模型来计算[17],计算公式如下:

$$ET_0=\frac{0.408\Delta(R_n-G)+\gamma\frac{900}{T+273}U_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34U_2)} \qquad (2)$$

式中:ET_0 为潜在蒸散量($mm\cdot d^{-1}$);R_n 为净辐射($MJ\cdot m^{-2}\cdot d^{-1}$);$G$ 为土壤热通量($MJ\cdot m^{-2}\cdot d^{-1}$);$\gamma$ 为干湿常数($kPa\cdot ℃^{-1}$);Δ 为饱和水汽压曲线斜率($kPa\cdot ℃^{-1}$);U_2 为 2 m 处高的风速($m\cdot s^{-1}$);e_s 为平均饱和水汽压(kPa);e_a 为实际水汽压(kPa);T 为平均气温(℃)。

本文采用 Morlet 小波分析法研究该流域内降雨量和温度变化特征的周期性,该函数能够在消除使用实型小波变换系数所产生的虚假震荡的同时,更好的处理信号强度和位相两方面的信息,从而能够更加真实准确的反应时间序列中各尺度的周期特

征[18-19]。

3 结果分析

3.1 降水量年际变化趋势

统计 55 a 来渭河流域不同区域的年降水量资料并绘制变化趋势图(图 2)。在全球气候逐渐变暖的大背景下,渭河流域不同区域的降水量波动比较明显,降水量在总体上呈下降的趋势,且各区域年降水量的年际变化也存在较大的差异性。以图 2a 为例:多年平均降水量为 500 mm,大于其它 4 个区域多年的平均降水量,降水量的年纪变化趋势为每 10 a 下降 2.755 mm。在 20 世纪 60 年代初期到 60 年代中后期时间内,年降水量均在 500 mm 以上,降水趋势较为平缓;60 年代中后期到 70 年代初期,降水量的变化趋势较为明显,其中在 1968 年年降水量为 375 mm,远远低于多年平均降水量值;80 年代初期到 90 年代中期,降水量在总体上有一定的增加趋势,其中 1989 年年降水量为 660 mm,为该时期段内降水量的最大值;20 世纪初期之后的这段时间里,降水量在总体上又呈现下降的趋势,其中 2008 年年均降水量仅为 350 mm,但在 2002 年降水量发生了一次变化,年均降水量为 700 mm。因此,从总体上看,该区域的年均降水量在波动中呈现小幅下降的趋势,降水的年纪差异大。其他各区域的年均降水量变化趋势如表 1 所示。

3.2 气温年际变化特征趋

研究区近 55 a 的气温在波动中呈现增加的趋势(图 3),且各区域的年均温度变化也存在较大的差异性。以图 3a 为例:该区域多年平均气温为 8.0 ℃,气温变化趋势为每 10a 温度上升 0.023 ℃。20 世纪 60 年代到 70 年代末期,温度的变化增长趋势较弱,多年平均温度为 7.3 ℃,其中在 1976 年温度为 8.0 ℃,为该时间段内的温度最高值;温度经过一段平稳的变化趋势,在 20 世纪 80 年代中期 21 世纪初期这段时间里,温度的上升幅度相对较强,多年平均温度为 8.0 ℃,其中在 2000 年,该区域的年平均温度为 9.6 ℃,远远大于同时段内的其他温度变化。温度变化的多样性也从侧面反映了该地区降水变化和气候变化的多样性。其余各区域气候变化倾向率如表 2 所示。

表 1 近 55 a 渭河流域不同区域年均降水量变化趋势

Tab. 1 Trend of precipitation change in Weihe River Basin

区域	天—西	魏—咸	西—张	临—阵	吴—状
倾向率 / mm · (10 a)$^{-1}$	−2.76	−0.54	−1.60	−1.60	−0.70

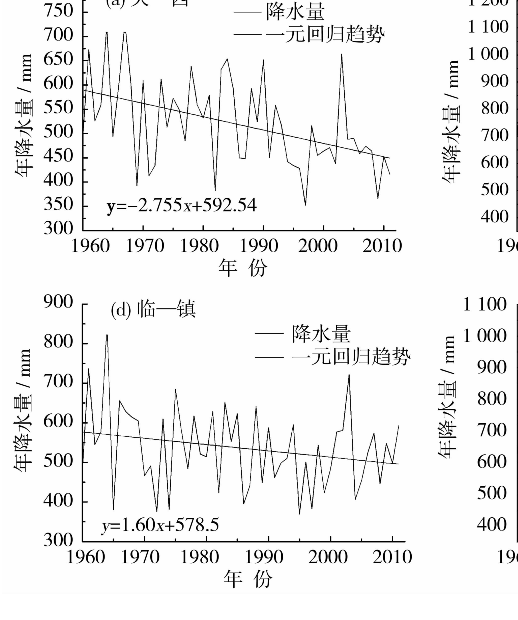
表 2 近 55 a 渭河流域不同区域年均温度变化趋势

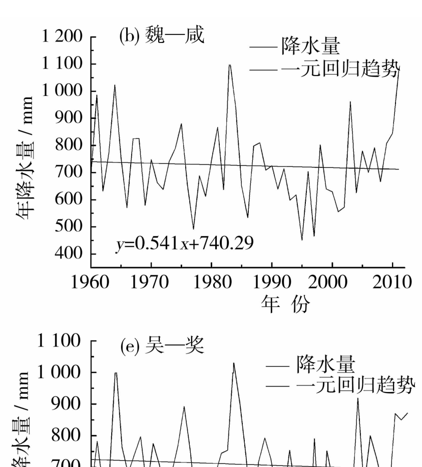
Tab. 2 Trend of temperature change in Weihe River Basin

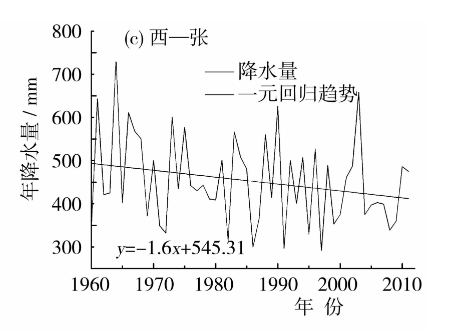
区域	天—西	魏—咸	西—张	临—阵	吴—状
倾向率 / ℃ · (10 a)$^{-1}$	0.023	0.028	0.019	0.037	0.007

3.3 周期分析

用 Morlet 小波周期函数分别绘制研究区近 55 a 降雨量和温度变化周期图,如图 4 和图 5 所示。其中,图4为年均降水量变化的小波周期图,图中颜色







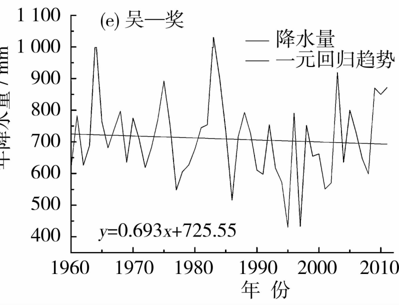


图 2 渭河流域5个区域的年降水量变化

Fig. 2 Annual precipitation change trend in Weihe River Basin

的深浅代表着年均降水量的高低,以图 4a 为例:在 15 ~ 16 a 和 25 ~ 30 a 两个尺度上,存在着年均降水量由增加到减少的震荡趋势,其中,1968—1970 年和 2003—2005 年为年均降水量偏少期。

年均温度变化的小波周期图如图 5 所示。图中颜色的深浅代表着温度的高低,以图 5a 为例:在 13 ~ 15 a 和 25 ~ 30 a 两个尺度上,存在着明显气温由降低到升高的震荡趋势。温度的变化趋势分为三个阶段,存在两个明显增加中心,他们分别是 1960—1972 年和 1998—2010 年,一个明显减少中心,是 1972—1998 年,温度的总体变化趋势是先增加在减少最后增加的趋势,与前文温度的年际变化相一致。

4　极端干旱变化

4.1　极端干旱年际变化特征

极端干旱频率统计的通用具体方法为:首先根据已有的资料数据依次计算出逐月地表湿润指数的

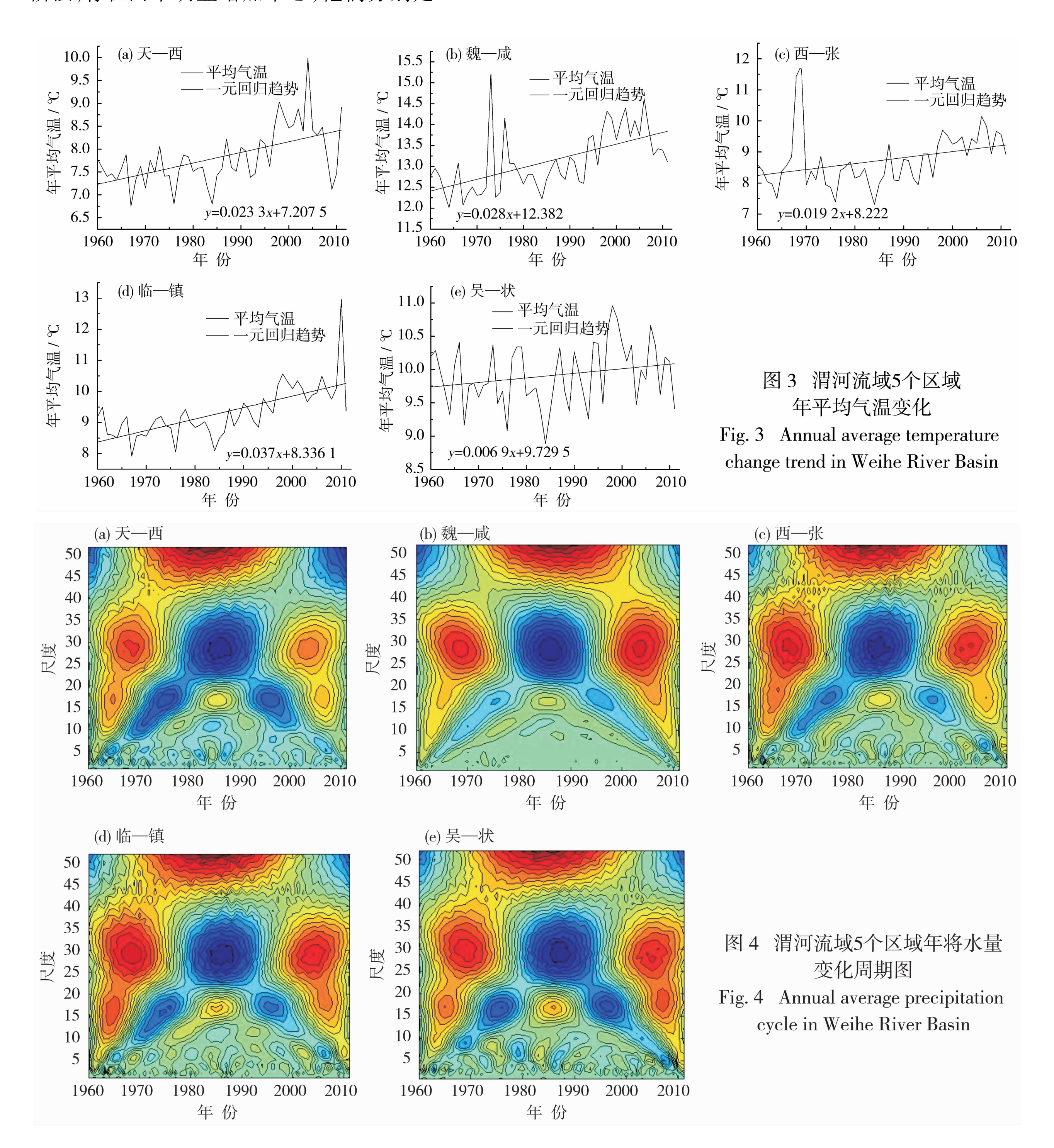


图 3　渭河流域5个区域年平均气温变化

Fig. 3　Annual average temperature change trend in Weihe River Basin

图 4　渭河流域5个区域年将水量变化周期图

Fig. 4　Annual average precipitation cycle in Weihe River Basin

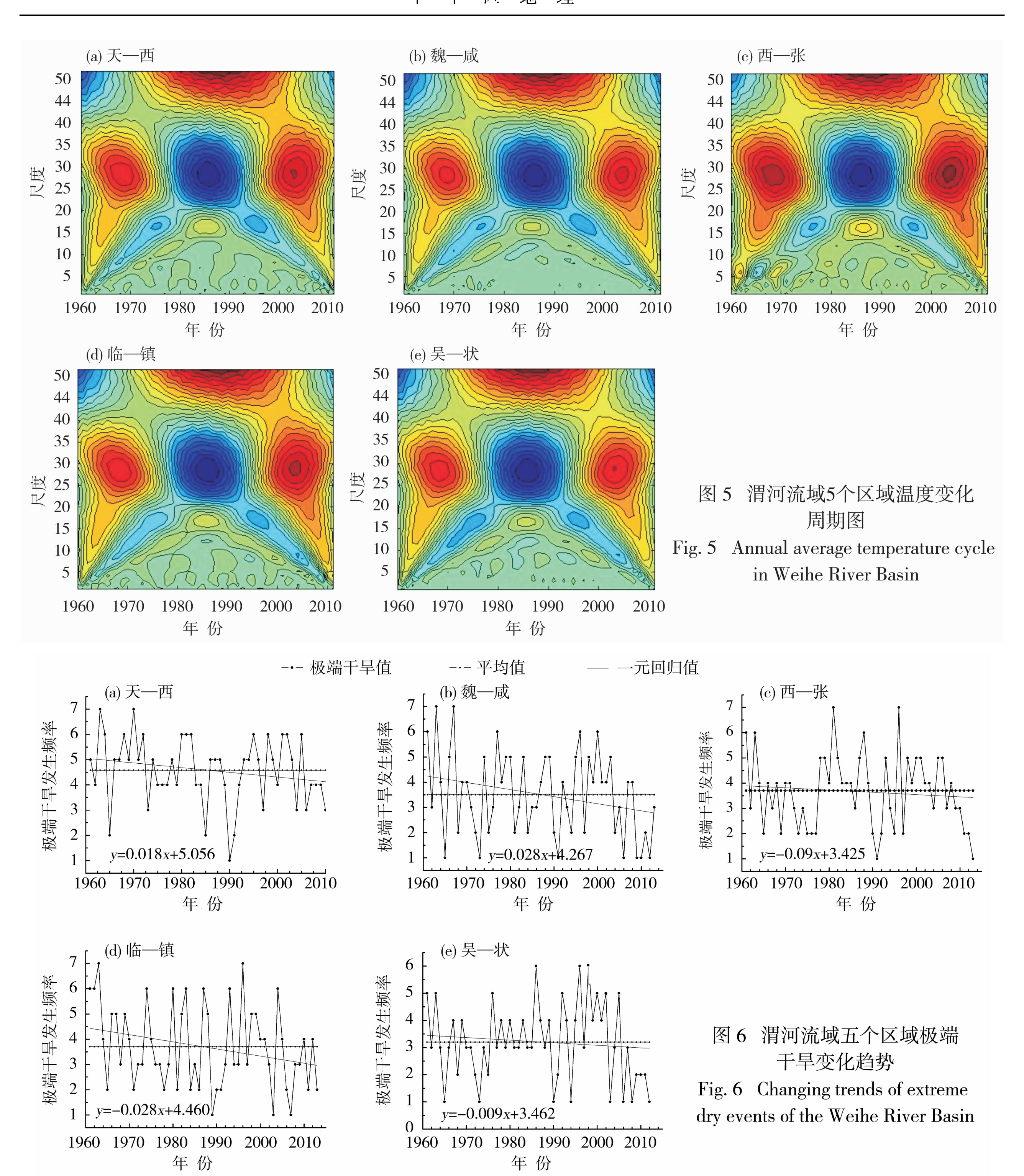


图 5 渭河流域5个区域温度变化周期图

Fig. 5 Annual average temperature cycle in Weihe River Basin

图 6 渭河流域五个区域极端干旱变化趋势

Fig. 6 Changing trends of extreme dry events of the Weihe River Basin

标准化变量，然后分别计算每年月湿润指数的标准化变量≤-0.5 的次数并将其作为该年极端干旱发生的频率。研究区 1960—2015 年极端干旱的年际变化趋势如图 6 所示。

研究区极端干旱的发生频率也存在着一定的差异性。图 6a 为天—西区域极端干旱发生频率的年际变化趋势图，由图可知，极端干旱的变化在总体上呈现小幅下降的趋势，极端干旱频率多年平均值为 3.8 mon·a^{-1}，为研究区内干旱频率发生次数最高的地区。20 世纪 70 年代中期以前和 90 年代中期到 21 世纪初变化趋势较为平稳，80 年代后表现出明显的下降趋势，随后保持着较为平稳的趋势，80 年代初期到 90 年代初期呈现一定的下降趋势。可以看出虽然总体上第一区域极端干旱发生频率表现出下降的趋势，但 60 年代中期和 90 年代初期极端干旱发生的频率还是有所上升。

1960 年以来,魏—咸区域多年极端干旱发生频率平均值为 3.5 mon · a^{-1},干旱频率呈现出显著下降的趋势,下降幅度大于同时期内研究区内其他区域极端干旱事件的发生频率(图 6b)。其中,80 年代左右变化较为平稳,但大部分都在平均值之上,说明在此之前极端干旱发生的频率较大,同时 80 年代末期到 90 年代末期呈现出先下降在增长,在下降和增长的趋势,特别是在 20 世纪初下降趋势较为明显,由此可见 20 世纪末渭河流域极端干旱发生的频率有了很大的改善。

吴—状区域近 55 a 来极端干旱发生频率的多年平均值为 3.1 mon · a^{-1},为研究区里极端干旱频率最小的区域,在总体上保持着较为平稳的下降趋势,且下降速率也为研究区域里最小的(图 6c)。但在不同的年代依然有着较大的差异,60 年代初期到 70 年代中期,极端干旱总体上呈现下降的趋势,且大部分在平均值之下,说明在此期间,极端干旱发生频率较小;90 年代中期以后极端干旱总体上也呈现下降的趋势,但大部分在平均值之上,说明进入 21 世纪,该区域的极端干旱事件得到了一定的改善。

临—镇区域近 55 a 来极端干旱频率的多年平均值为 3.7 mon · a^{-1},仅小于天—西区域的干旱频率值,极端干旱频率波动中呈下降的趋势,下降幅度是研究区内同时期里最快的(图 6d)。60 年代初期到 70 年代初期这段时间里,极端干旱的波动幅度小,干旱呈现下降的趋势;90 年代初期到 21 世纪初,干旱的波动范围较大,且呈现增长的趋势。

图 6e 为吴—状区域近 55 a 来极端干旱频率的变化趋势图。多年平均值为 3.3 mon · a^{-1}极端干旱频率波动中呈下降的趋势。70 年代中期到 80 年代中期和 90 年代初期到 90 年代末期这段时间里,极端干旱的波动幅度小,干旱呈现下降的趋势;60 年代初期到 70 年代初期和 80 年代中期到 90 年代初期这段时间干旱的波动范围较大,且呈现增长的趋势。

研究区各区域极端干旱的变化趋势如表 3 所示:

表 3　近 55 a 渭河流域不同区域极端干旱频率变化趋势

Tab. 3　Trend of extreme drought events in Weihe River Basin

区域	天—西	魏—咸	西—张	临—阵	吴—状
倾向率 / mon · a^{-1}	-0.018	-0.028	-0.09	-0.028	-0.009

4.2　极端干旱周期变化特征

研究区 1960—2015 年以来极端干旱的小波周期变化特征如图 7 所示。以图 7a 为例:干旱频率存在着由高到低的震荡尺度,震荡周期分别为 13 ~ 15 a 和 25 ~ 30 a;60 年代中期到 70 年代初期、90 年代中期到 21 世纪初,极端干旱事件的频率较为稳定,

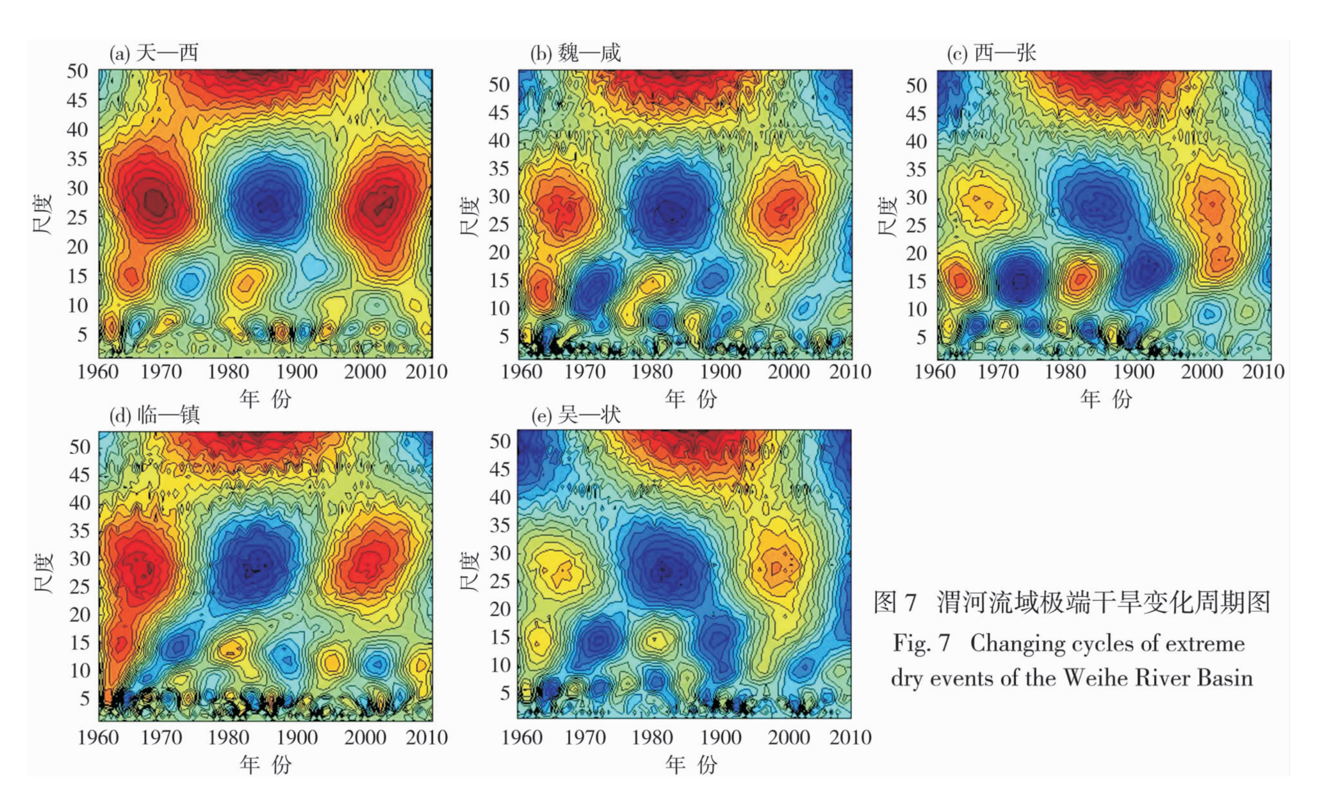


图 7　渭河流域极端干旱变化周期图

Fig. 7　Changing cycles of extreme dry events of the Weihe River Basin

其中在1962—1965年和1980—1990年这段时间里，干旱频率的减少幅度最强，之后又呈现一定的上升趋势，但在总体上极端干旱频率呈现一定的下降趋势。研究区内极端干旱的震荡周期都存在着明显的时域特征，以30 a为尺度的振荡周期最为明显，15 a为尺度的振荡周期较弱。在总的变化趋势上都存在小幅下降的波动，并与前文温度和年降雨量的变化情况在总体上保持相同。

5 结 论

（1）本文通过降水、蒸发和极端干旱事件频率，从年纪变化趋势方面系统的揭示了渭河流域的气候变化特征。结果表明，研究区内年均降水量在总体上呈下降的趋势，降水量的减少主要集中在20世纪70年代中期到80年代中期和21世纪初之后的时间段中，天—西区域的年均降水量为5个区域内最少的，同时下降幅度是最大的，降雨量减少速率为2.755 mm·(10 a)$^{-1}$，魏—咸区域是降雨量减少速率最弱的区域，为0.541 mm·(10 a)$^{-1}$，其他区域降雨量减少速率分别为：1.80 mm·(10 a)$^{-1}$、1.60 mm·(10 a)$^{-1}$和0.69 mm·(10 a)$^{-1}$。

（2）研究区内的气候变化趋势也存在一定的差异性。温度增幅最大的区域为临—镇区域，增幅速率为0.37 ℃·(10 a)$^{-1}$，并且温度的波动幅度较小；温度增幅最小的区域是吴—状区域，增幅速率为0.069 ℃·(10 a)$^{-1}$；其他区域的温度增幅速率分别为：0.233 ℃·(10 a)$^{-1}$、0.28 ℃·(10 a)$^{-1}$和0.192 ℃·(10 a)$^{-1}$。

（3）自20世纪60年代以来，研究区内极端干旱事件的频率呈下降的趋势，其中在西—张区域、临—镇区域和吴—状区域最为明显；相比于其他区域吴—状区域的极端干旱频率最小、干旱波动幅度最弱；总体上干旱频率波动中呈小幅下降的趋势。极端干旱频率最高的是天—西区域，为3.8 mon·a^{-1}，最低为西—张区域，干旱频率值为3.07 mon·a^{-1}，其它区域发生极端干旱的频率值分别为3.7 mon·a^{-1}、3.5 mon·a^{-1}和3.3 mon·a^{-1}。同时魏—咸和临—镇区域极端干旱的变化速率是最大的，每年下降0.28次，吴—状区域变化干旱速率最小，每年下降0.009次，其他区域的干旱减少速率分别为0.018 mon·a^{-1}和0.09 mon·a^{-1}。

参考文献(References)

[1] CHANGNON S A, PIELKE R A, CHANGNON D, et al. Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2010, 81(2000): 437－442.

[2] 秦大河. 气候变化的事实、影响及我国的对策[J]. 外交评论, 2004, (3): 14－22. [QIN Dahe. The efforts of climate change and Chain's policy[J]. Foreign Affairs Review, 2004, (3): 14－22.]

[3] HAEBERLI W, HOELZLE M, PAUL F, et al. Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: The European Alps[J]. Annals of Glaciology, 2007, 46(1): 150－160(11).

[4] 严中伟, 杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 267－272. [YAN Zhongwei, YANG Chi. Geographic patterns of extreme climate change in China during 1951—1997[J]. Climatic and Environment Research, 2000, 5(3): 267－272.]

[5] 陈亚宁, 王怀军, 王志成, 等. 西北干旱区极端气候水文事件特征分析[J]. 干旱区地理, 2017, 40(1): 1－9. [CHEN Yaning, WANG Huaijun, WANG Zhicheng, et al. Characteristics of the extreme drought events in southwest China during recent 50 years[J]. Arid Land Geography, 2017, 40(1): 1－9.]

[6] 张宁. 中国极端气温和降水趋势变化研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2007. [ZHANG Ning. An analysis on change of trend coefficient of extreme climate events in China[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science, 2007.]

[7] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003, 58(S1): 1－10. [ZHAI Panmao, PAN Xiaohua. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(S1): 1－10.]

[8] 江志红, 丁裕国, 陈威霖. 21世纪中国极端降水事件预估[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(4): 202－207. [JIANG Zhihong, GONG Yuguo, CHEN Weilin. Projection of precipitation extremes for the 21st century over China[J]. Advances in Climate the Change Research, 2007, 3(4): 202－207.]

[9] 马柱国, 符淙斌. 中国北方干旱区地表湿润状况的趋势分析[J]. 气象学报, 2001, 59(6): 737－746. [MA Zhuguo, FU Zongbin. Trend of surface humid index in the arid area of northern China[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 59(6): 737－746.]

[10] 孙悦, 李栋梁, 朱拥军. 渭河径流变化及其对气候变化与人类活动的响应研究进展[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 396－405. [SUN Yue, LI Dongliang, ZHU Yongjun. Advances in study about runoff variation of the Weihe River and its response to climate change and human activities[J]. Journal of Arid Meteorology, 2013, 31(2): 396－405.]

[11] 左德鹏, 徐宗学, 李景玉, 等. 气候变化情景下渭河流域潜在蒸散量时空变化特征[J]. 水科学进展, 2011, 22(4): 455－461. [ZUO Depeng, XU Zongxue, LI Jingyu, et al. Spatial-temporal characteristics of potential evapotranspiration in the Weihe River

Basin under future climate change[J]. Advances in Water Science,2011,22(4):455 – 461.]

[12] 王帅,李院生,张峰. 近 55 年渭河流域气温演变规律分析[J]. 中国农业气象,2013,34(5):512 – 518.[WANG Shuai, LI Yuansheng, ZHANG Feng. Analysis on spatio-temporal variation of temperature in Weihe River Basin in recent 55 years[J]. Chinese Journal of Agrometeorology,2013,34(5):512 – 518.]

[13] HE H, ZHANG Q, ZHOU J, et al. Coupling climate change with hydrological dynamic in Qinling Mountains, China[J]. Climatic Change,2009,94(3):409 – 427.

[14] 董晴晴,占车生,王会肖,等. 2000 年以来的渭河流域实际蒸散发时空格局分析[J]. 干旱区地理,2016,39(2):327 – 335.[DONG Qingqing, ZHAN Chesheng, WANG Huixiao, et al. Spatio-temporal patterns of actual evapotranspiration in the Weihe River Basin since 2000[J]. Arid Land Geography,2016,39(2):327 – 335.]

[15] ZHAO J, HUANG Q, CHANG J, et al. Analysis of temporal and spatial trends of hydro-climatic variables in the Wei River Basin[J]. Environmental Research,2015,139:55 – 64.

[16] 马柱国,符淙斌,任小波,等. 中国北方年极端温度的变化趋势与区域增暖的联系[J]. 地理学报,2003,58(z1):11 – 20.[MA Zhuguo, FU Zongbin, REN Xiaobo, et al. Trend of annual extreme temperature and its relationship to regional warming in northern China[J]. Acta Geographica Sinica,2003,58(z1):11 – 20.]

[17] 贾文雄,何元庆,王旭峰,等. 祁连山及河西走廊潜在蒸发量的时空变化[J]. 水科学进展,2009,20(2):159 – 167.[JIA Wenxiong, HE Yuanqing, WANG Xufeng, et al. Temporal and spatial change of the potential evaporation over Oilian Mountains and Hexi Corridor from 1960 to 2006[J]. Advances in Water Science, 2009,20(2):159 – 167.]

[18] 马日新,黄金廷,田华,等. 格尔木河流域近 60 a 降水、蒸发及温度变化特征分析[J]. 干旱区地理,2017,40(5):1005 – 1012.[MA Rixin, HUANG Jinting, TIAN Hua, et al. Characteristics of precipitation, evaporation and temperature at the Golmud River Catchment in recent 60 years[J]. Arid Land Geography, 2017,40(5):1005 – 1012.]

[19] 曹永强,张亮亮,王学凤,等. 辽宁省夏季降水量和极端雨量日时空变化特征分析[J]. 干旱区地理,2017,40(2):266 – 275.[CAO Yongqiang, ZHANG Liangliang, WANG Xuefeng, et al. Characteristics of spatio-temporal variation of summer precipitation and extreme rainfall days in Liaoning Province in recent 54 years[J]. Arid Land Geography,2017,40(2):266 – 275.]

Climate change characteristics in Weihe River Basin from 1960 to 2015

FENG Xing,　GUO Jian-qing,　SUN Dong-yong,　CAO Yang

(*Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effect in Arid Region of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an* 710054, *Shaanxi, China*)

Abstract: According to the daily meteorological data of 21 stations from 1960 to 2015 in Weihe River Basin, northwest China, We used Penman-Monteith model, climate inclination rate and Morlet wavelet to study the characteristics of climate change in Weihe River basin. The results showed as follows: (1) Annual temperature was in a slowly rising trend in recent 55 years, in particular, the rate of temperature rising from the middle of the 1980s to the early 1990s was faster than the rate at any other times. The annual precipitation has been slowly declined in recent 55 years. The periods from the middle of the 1980s to the early 1990s and the early 21st century were the major precipitation decreased periods. (2) The results from Morlet wavelet analysis indicated a vibration period scale as 13 years to 15 years for a sub fluctuation and 25 years to 30 years for a main fluctuation about both the extreme drought events and the air temperature, a sub fluctuation of 15 years to 17 years and main fluctuation of 25 years to 30 years about the annual precipitation. It is shown that the changing rules of the three are similar. (3) There are some differences in the climate change characteristics of the research area. The minimal trend of the annual temperature and precipitation is Wuqi-Zhuangtou Basin, and the greatest change trend of annual precipitation and extreme drought events is Tianshui-Xiji Basin. In general, the change of climate elements in the research area are basically consistent.

Key words: Weihe River Basin; climatic characteristics; extreme drought events; Penman-Monteith model